

**Bio-reactor stimulates microbiological activity in effluent water by piezo-electric high-frequency oscillator**

**Patent number:** DE10118839  
**Publication date:** 2002-10-24  
**Inventor:** UPHOFF CHRISTIAN (DE)  
**Applicant:** FRITZMEIER GEORG GMBH & CO (DE)  
**Classification:**  
- international: C02F1/36; C02F3/10; C12M1/42; C02F1/34; C02F3/10; C12M1/42; (IPC1-7): C02F3/10; C02F1/36  
- european: C02F1/36; C02F3/10; C12M1/42  
**Application number:** DE20011018839 20010417  
**Priority number(s):** DE20011018839 20010417

**Report a data error here**

**Abstract of DE10118839**

A new bioreactor stimulates the growth of micro-organisms present in waste water using a high-frequency oscillator (16). Waste water flows around the oscillator stimulating micro-organisms. Also micro-organism biochemical processes trigger high frequency oscillations which stimulate micro-organism activity.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide





①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 18 839 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**C 02 F 3/10**  
C 02 F 1/36

DE 101 18 839 A 1

⑳ Aktenzeichen: 101 18 839.0  
㉔ Anmeldetag: 17. 4. 2001  
㉔③ Offenlegungstag: 24. 10. 2002

㉔① Anmelder:

Georg Fritzmeier-GmbH & Co, 85655  
Großhelfendorf, DE

㉔④ Vertreter:

WINTER, BRANDL, FÜRNISS, HÜBNER, RÖSS,  
KAISER, POLTE, Partnerschaft, 85354 Freising

㉔② Erfinder:

Uphoff, Christian, 83229 Aschau, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

⑤④ Bioreaktor

⑤⑦ Offenbart sind ein Bioreaktor zur Wachstumsstimulation von Mikroorganismen und ein Verfahren zum Stimulieren des Wachstums von Mikroorganismen, bei denen in einer Füllkörperkolonne eine Schüttung aus piezokeramischen Füllkörpern und aus permanentmagnetischen Füllkörpern angeordnet ist. Die piezokeramischen Füllkörper werden kontinuierlich oder diskontinuierlich zu hochfrequenten Schwingungen angeregt, so daß in dem entstehenden Wechselfeld des piezokeramischen Schüttungsanteils und dem Magnetfeld der permanentmagnetischen Schüttung die Mikroorganismen zum Wachstum angeregt werden.

DE 101 18 839 A 1



[0001] Die Erfindung betrifft einen Bioreaktor und ein Verfahren zur Stimulierung des Wachstums von Mikroorganismen.

[0002] Aus der DE 198 13 451 A1 ist es bekannt, bei der mikrobiologischen Reinigung von Abwasser Ultraschall einzusetzen. Dieser kann beispielsweise zur Zerstörung unerwünschter Mikroorganismen oder zum Aufschluß von Klärschlamm verwendet werden, so daß dessen nachfolgender Abbau erleichtert wird. Bei diesen bekannten Verfahren zur Zerstörung unerwünschter Mikroorganismen oder zum Aufschluß von Klärschlamm wird Ultraschall vergleichsweise niedriger Frequenz im Frequenzbereich von 20 bis 50 kHz eingesetzt, wobei die Organik enthaltende Flüssigkeit mit Ultraschall beaufschlagt wird.

[0003] Neben diesen mehr auf die Zerstörung von Mikroorganismen bzw. auf das Aufschließen von Zellen gerichteten Ultraschallanwendungen wird in der DE 198 13 451 A1 auch auf Anwendungen verwiesen, bei denen der Ultraschall den mikrobiellen Ab- und Umbau unterstützt, wobei durch gezielte Veränderung der Frequenzbereiche eine unerwünschte Vermehrung von Mikroorganismen verhindert werden kann, so daß eine gezielte Reduktion der Biomassenproduktion einstellbar ist.

[0004] Zur Beaufschlagung des Abwassers lassen sich beispielsweise piezoelektrische Wandler einsetzen, wie sie in der DE 196 49 975 A1 offenbart sind.

[0005] In der älteren Patentanmeldung DE 100 62 812 der Anmelderin wird eine mikrobiotische Mischkultur zur Behandlung von verunreinigtem Abwasser vorgeschlagen, bei dem ein Anteil an photosynthetisch arbeitenden Mikroorganismen und ein Anteil an Leuchtbakterien enthalten ist. Problematisch bei dieser bereits erfolgreich eingesetzten Mischkultur ist, daß ein gewisser Mindestanteil an Leuchtbakterien vorhanden ist, um das in der älteren Anmeldung beschriebene Wechselspiel zwischen den photosynthetisch arbeitenden Mikroorganismen und den Leuchtbakterien einzuleiten. D. h., der gewünschte mikrobiologische Abbau erfolgt erst dann, wenn eine kritische Menge an Leuchtbakterien vorhanden sind, die die photosynthetisch arbeitenden Mikroorganismen zur Photosynthese anregen.

[0006] Dem gegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Bioreaktor und ein Verfahren zur Anregung von Mikroorganismen derart weiterzubilden, daß auch bei ungünstigen Betriebsbedingungen, d. h. beispielsweise bei toxisch belastetem Abwasser und in Kanalsystemen ohne natürliche Lichtquellen Mikroorganismen zum Wachstum angeregt werden können, so daß die biologischen Abbau- und Umbaureaktionen mit einem hohen Wirkungsgrad durchführbar sind.

[0007] Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Bioreaktors durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des nebengeordneten Patentanspruchs 10 gelöst.

[0008] Erfindungsgemäß enthält der beispielsweise vom beladenen Abwasser durchströmte - Bioreaktor einen Schwingkörper, der derart ausgebildet ist, daß er nach Anregung in einem Schwingungsfeld im Abwasser enthaltene Mikroorganismen kontinuierlich mit einer Hochfrequenzschwingung beaufschlagt, über die diese zum Wachstum angeregt werden. Alternativ kann der Schwingkörper auch durch biochemische Wechselwirkung mit den Mikroorganismen zu hochfrequenten Schwingungen angeregt werden, die dann zur Wachstumsstimulierung weiterer Mikroorganismen ausnutzbar sind. Wesentlich ist, daß der Bioreaktor eine Art Schwingkörper enthält, der entweder durch eine externe Spannungsquelle oder durch biochemische Prozesse

zu Schwingungen angeregt werden kann, die dann über einen längeren Zeitraum zur Wachstumsstimulierung an Mikroorganismen abgegeben werden. Diese Schwingungen liegen im Ultraschallbereich und es konnte überraschenderweise festgestellt werden, daß auch bei Frequenzen im Bereich von 40 kHz eine Wachstumsstimulation von Mikroorganismen festzustellen ist.

[0009] Bei einem besonders vorteilhaften Ausführungsbeispiel ist der Schwingkörper durch eine Füllkörperschüttung gebildet, die vorzugsweise aus einem Anteil an permanentmagnetischen Füllkörpern und einem Anteil an Füllkörpern mit piezoelektrischen Eigenschaften bestehen. Dabei wird es besonders bevorzugt, wenn die Füllkörper aus Keramikmaterialien hergestellt sind.

[0010] Eine Schädigung der Piezokeramik durch toxische Bestandteile des Abwassers und umgekehrt, eine Belastung des Abwassers durch Schwermetallanteile in der Keramik läßt sich verhindern, indem diese mit einer Keramikschicht, beispielsweise einer  $\text{TiO}_2$ -Schicht versehen sind. Bei derart beschichteten Piezokeramiken wird die Beschichtung vorzugsweise an zwei gegenüberliegenden Stellen unterbrochen, so daß bei der Ausbildung eines elektrischen Feldes ein Plus- und ein Minuspol gebildet werden, an denen sich entsprechend geladene Mikroorganismen anlagern.

[0011] Das durch den permanentmagnetischen Anteil gebildete Magnetfeld regt bestimmte Mikroorganismen, wie Pilze und Einzeller, beispielsweise Geiseltierchen zum Wachstum an, so daß die biologische Umsetzung weiter beschleunigt wird.

[0012] Erfindungsgemäß ist es bevorzugt, wenn die permanentmagnetischen Füllkörper und die piezoelektrisch wirksamen Füllkörper geschichtet hintereinanderliegend angeordnet sind, wobei vorzugsweise eine Schicht aus Permanentmagneten zwischen zwei Füllkörperschichten aus Piezokeramikmaterial angeordnet ist.

[0013] Der Bioreaktor wird vorteilhafterweise als zylindrische Füllkörperkolonne ausgeführt, wobei im Eingangs- und/oder Ausgangsbereich der Füllkörperkolonne Filterelemente zum Zurückhalten von Verunreinigungen etc. ausgebildet sein können.

[0014] Sonstige vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der weiteren Unteransprüche.

[0015] Im folgenden werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0016] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Bioreaktors mit einer permanentmagnetischen und einer piezoelektrischen Schicht;

[0017] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines piezoelektrischen Keramikfüllkörpers und

[0018] Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel eines Bioreaktors, bei dem permanentmagnetische Füllkörper zwischen zwei Schichten bestehend aus piezoelektrischen Füllkörpern angeordnet ist.

[0019] Die erfindungsgemäße Vorrichtung wird vorzugsweise bei der Aufbereitung von gewerblichen und Haushaltsabwässern eingesetzt, um den Wirkungsgrad der biologischen Umsetzung zu erhöhen. Der erfindungsgemäße Bioreaktor besteht im wesentlichen aus einer Füllkörperkolonne 1, die einen strichpunktartig angedeuteten Abwasserkanal eingesetzt ist. Das in Pfeilrichtung strömende, Organik enthaltende Abwasser tritt stromseitig in die Füllkörperkolonne 1 ein, wobei im Eintrittsbereich der Füllkörperkolonne 1 oder stromaufwärts von dieser ein Feststofffilter 4 zum Abscheiden von festen Bestandteilen, wie beispielsweise Faserstoffen oder einen gewissen Partikeldurchmesser überschreitenden Feststoffen vorgesehen ist.

[0020] Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbei-



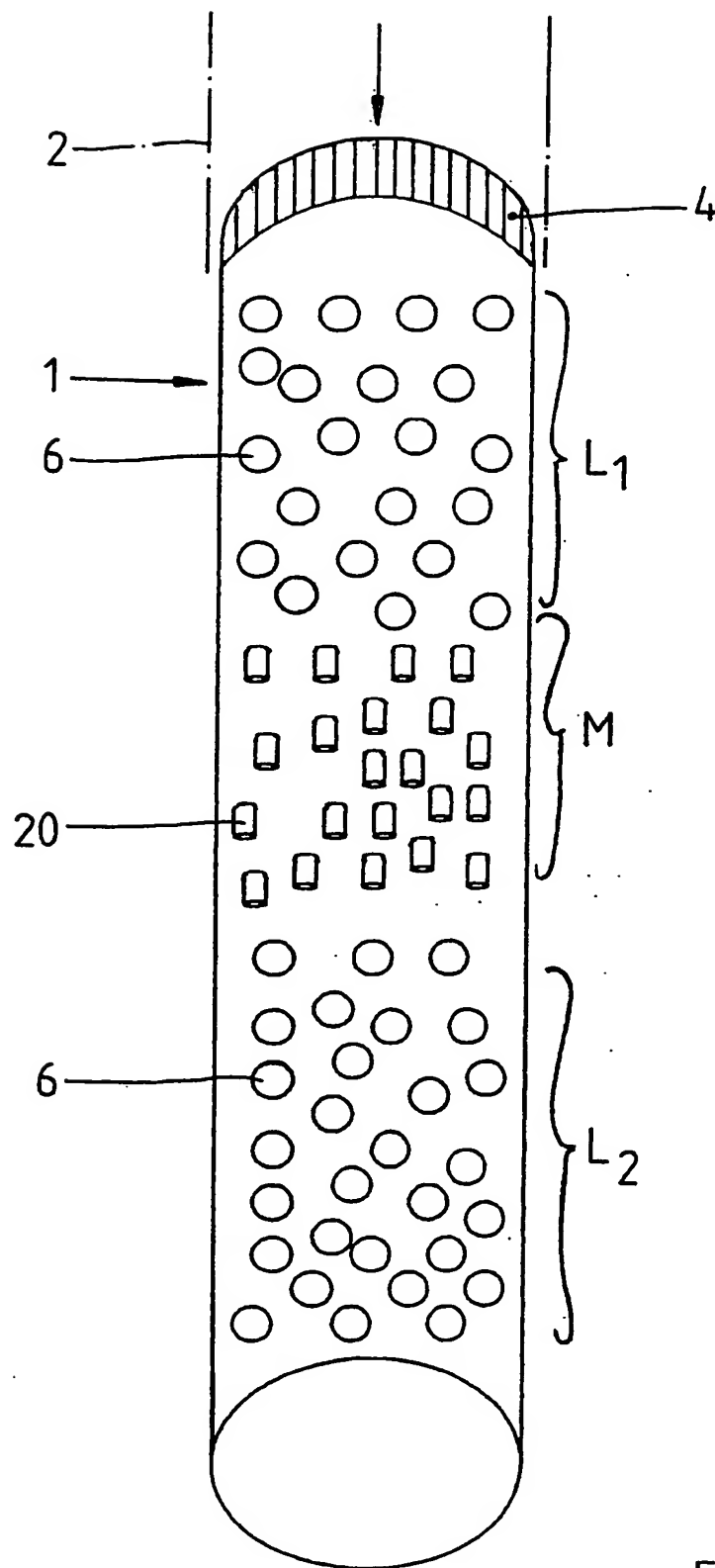


Fig. 3



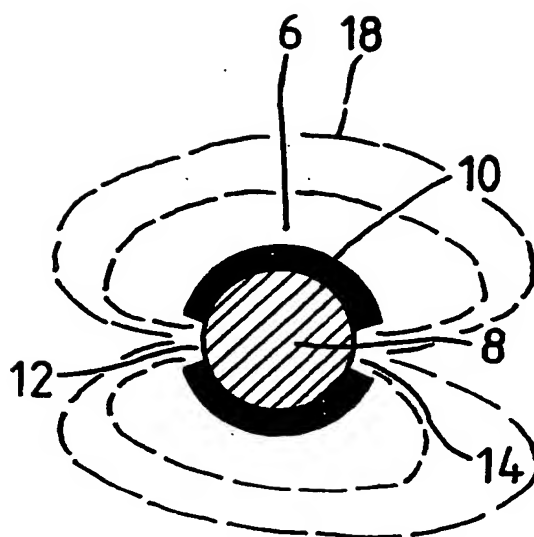


Fig. 2



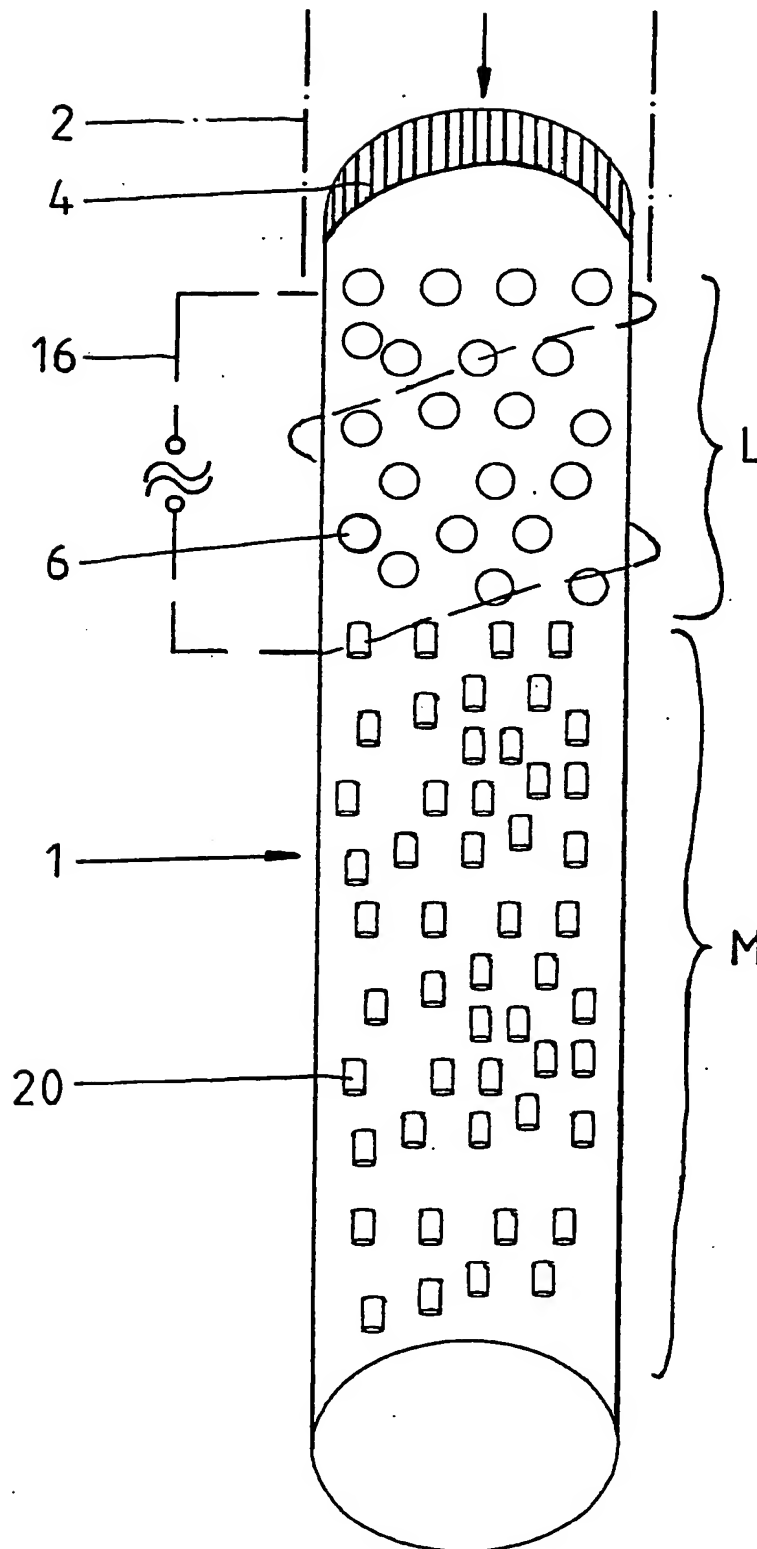


Fig. 1



Magnetfeld der permanentmagnetischen Schüttung die Mikroorganismen zum Wachstum angeregt werden.

1 Füllkörperkolonne

2 Abwasserkanal

4 Filter

5

6 piezoelektrischer Füllkörper

8 piezoelektrische Keramik

10 Beschichtung

12 Pol

14 Pol

10

16 Einrichtung

18 Feldlinien

20 permanentmagnetischer Füllkörper

#### Patentansprüche

15

1. Bioreaktor zur Anregung des Wachstums von insbesondere in Abwasser enthaltenden Mikroorganismen mit einer Einrichtung (16) zum Beaufschlagen der Mikroorganismen mit hochfrequenten Schwingungen, gekennzeichnet durch einen vom Abwasser umströmten Schwingkörper, der nach Anregung in einem hochfrequenten Schwingungsfeld die Mikroorganismen mit einer hochfrequenten Schwingung beaufschlägt und/oder der durch biochemische Prozesse von Mikroorganismen zur Abgabe von hochfrequenten Schwingungen an Mikroorganismen anregbar ist.

20

25

2. Bioreaktor nach Anspruch 1, wobei der Schwingkörper zumindest einen Körper aufweist, der piezoelektrisch zum Schwingen anregbar ist.

30

3. Bioreaktor nach Patentanspruch 1 oder 2, wobei dem Schwingkörper zumindest einen permanentmagnetischer Bereich zugeordnet ist.

4. Bioreaktor nach Patentanspruch 2 oder 3, wobei jeder Bereich des Schwingkörpers durch eine Füllkörperschüttung gebildet ist.

35

5. Bioreaktor nach Patentanspruch 4, wobei die Füllkörper (6, 20) kugel- oder zylinderförmig ausgebildet sind.

6. Bioreaktor nach Patentanspruch 4 oder 5, wobei die Füllkörper (6, 20) aus Keramikmaterial hergestellt sind.

40

7. Bioreaktor nach Patentanspruch 6, wobei piezoelektrische Füllkörper (6) mit einer Beschichtung (10) versehen sind, die vorzugsweise an zwei gegenüberliegenden Polen (12, 14) unterbrochen ist.

45

8. Bioreaktor nach Patentanspruch 7, wobei die Schutzschicht aus Titanoxid ( $\text{TiO}_2$ ) besteht.

9. Bioreaktor nach einem der Patentansprüche 4 bis 8, wobei die Füllkörper (6, 20) schichtartig hintereinander liegend in einer Füllkörperkolonne (1) angeordnet sind.

50

10. Bioreaktor nach Patentanspruch 9, wobei die Füllkörperkolonne im Eingangsbereich einen Filter (4) hat.

11. Verfahren zur Anregung von Mikroorganismen mit Ultraschall, bei dem einem piezoelektrischen Schwingkörper diskontinuierlich Energie zugeführt wird und dieser hochfrequente Energie an die Mikroorganismen abgibt oder der durch biochemische Prozesse der Mikroorganismen zu hochfrequenten Schwingungen angeregt wird, mit denen weitere Mikroorganismen beaufschlagt werden.

55

60

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

65



[0033] Es ist bevorzugt, dass in der erfindungsgemäßen mikrobiologische Zusammensetzung als fakultativ phototrophe Mikroorganismen, Prochlorophyten, Cyanobakterien, grüne Schwefelbakterien, Purpurbakterien, Chloroflexus-ähnliche Formen und Heliobakterium und Heliobacillus-ähnliche Formen enthalten sind. Die vorgenannten fakultativ phototrophen Mikroorganismen können auch als Mischungen aus zwei oder mehr davon vorliegen. In einer ganz besonderen Ausführungsform liegen alle sechs genannten Mikroorganismen als Mischung vor.

[0034] Das Licht, das die Photosynthese antreibt, stammt von den Leuchtbakterien, die als zweite essentielle Komponente in der mikrobiologischen Zusammensetzung der vorliegenden Erfindung enthalten sind. Diese Leuchtbakterien besitzen eine Leuchtkraft, d. h. sie sind in der Lage, Lichtquanten auszusenden.

[0035] Es handelt sich hierbei um ein System, das enzymatisch abläuft. Als Beispiel kann hier das Luciferin-Luciferase-System genannt werden.

[0036] In einer bevorzugten Ausführungsform sind in der erfindungsgemäßen Mischung als Leuchtbakterien Photobacterium phosphoreum, Vibrio fischeri, Vibrio harveyi, Pseudomonas lucifera oder Beneckea enthalten. Es ist auch möglich, eine Mischung aus mindestens zwei daraus zu wählen.

[0037] Zur Optimierung der erfindungsgemäßen mikrobiologischen Zusammensetzung können weitere Bestandteile darin enthalten sein. Vorzugsweise sind solche Nebenbestandteile Pflanzenextrakte, Enzyme, Spurenelemente, Polysaccharide, Alginderivate, andere Mikroorganismen wie oben. Die Nebenbestandteile können einzeln oder in Kombination in der erfindungsgemäßen mikrobiologischen Zusammensetzung vorliegen. Die Pflanzenextrakte können beispielsweise Spitzwegerich enthalten.

[0038] Eventuell hinzugefügte Milchsäurebakterien dienen dazu, um pathogene Keime zu unterdrücken und den pH-Wert abzusenken.

[0039] Als Nährlösung für die erfindungsgemäße mikrobiologische Zusammensetzung wird im allgemeinen eine Lösung verwendet, die dazu beiträgt, dass die darin enthaltenen Bestandteile, insbesondere die Mikroorganismen, ohne weiteres darin leben können. Dabei kommt es insbesondere darauf an, dass die Wechselwirkung der Photosynthesebakterien und der Leuchtbakterien vollständig zum Tragen kommt. Es hat sich erwiesen, dass eine biologische Nährlösung mit Melasse, insbesondere Rohzuckermelasse oder Zuckerrübenmelasse als Hauptbestandteil geeignet ist.

[0040] Die photosynthetisch arbeitenden Mikroorganismen und die Leuchtbakterien liegen in der erfindungsgemäßen mikrobiologischen Zusammensetzung normalerweise in einem Verhältnis von 1 : 10 bis 1 : 500 vor. Ein bevorzugtes Verhältnis ist 1 : 100.

[0041] Die vorgenannten Mikroorganismen und die ohnehin im Abwasser enthaltenen Mikroorganismen treten nach Durchströmen des Filters 4 in die Füllkörperkolonne ein und gelangen in Wechselwirkung mit dem hochfrequenten elektrischen Feld in den Füllkörperbereichen L bzw. L<sub>1</sub> und L<sub>2</sub>. Durch dieses hochfrequente Feld werden die Mikroorganismen zum Wachstum angeregt, so daß auch bei einer toxischen Belastung des Abwassers genügend Leuchtbakterien vorhanden sind, um die vorbeschriebene Reaktion zwischen den Leuchtbakterien und den photosynthetisch wirkenden Mikroorganismen in Gang zu setzen.

[0042] Die Titanoxidbeschichtung 10 der piezoelektrischen Füllkörper 6 hat dabei eine Doppelfunktion: Sie bildet zum einen eine die Piezokeramik 8 umgebende Schutzschicht und zum anderen bildet sie eine Austauschfläche, an der sich die Mikroorganismen anlagern können. Es zeigte

sich, daß durch die von den Leuchtbakterien abgegebene Strahlung die Titanoxidbeschichtung derart aktiviert wird, daß sich die Oberflächenspannung der die piezoelektrischen Füllkörper 6 umgebenden Substanz verringert wird und diese sich gleichmäßig über die Oberfläche des Füllkörpers 6 verteilen. Es entsteht eine Art den Füllkörper 6 umgebender Biofilm, der im wesentlichen aus einer schleimartigen extracellulären polymeren Substanz (EPS) besteht, in der die Mikroorganismen eingebettet sind. Diese EPS verhindert ein Vordringen toxischer Substanzen im Abwasser (beispielsweise Schwermetalle) in das Zellinnere der Mikroorganismen. Die EPS wirkt des weiteren als Diffusionsbarriere, die ein Ausdiffundieren von bei der biologischen Umsetzung benötigten Stoffen, wie beispielsweise Exoenzymen verhindert. Die EPS wirkt wie eine semipermeable Membran, die den Abbau der im Abwasser gelösten Organik unterstützt. Je nach Art der Mikroorganismen setzen sich diese bevorzugt im Bereich der Pole 12 oder 14 ab. Des weiteren verwenden Bakterien die in Symbiose mit anderen Arten leben, die EPS als Mittel, um in räumlicher Nähe zu diesen Bakterien bleiben zu können.

[0043] Aufgrund der verringerten Oberflächenspannung dieses Biofilms können sich auf der Oberfläche der Füllkörper praktisch keine im Abwasser enthaltenen Verunreinigungen ansetzen, da diese von dem Biofilm unterspült werden und dieser mit großer Adhäsionskraft an der Titanoxidschicht abgelagert ist.

[0044] Bei Einsatz der von der Anmelderin entwickelten Mischkultur sammeln sich im Biofilm Leuchtbakterien und photosynthetisch wirksame Bakterien an, so daß eine Art "Leuchtfilm" entsteht, der die piezokeramischen Füllkörper 6 umgibt.

[0045] Das zu behandelnde Abwasser durchströmt im Anschluß die Schüttung aus permanentmagnetischen Füllkörpern 20, so daß diejenigen Mikroorganismen zum Wachstum angeregt werden, die nicht durch ein hochfrequentes Wechselfeld sondern durch ein Permanentmagnetfeld zum Wachstum angeregt werden.

[0046] Nach dem Durchströmen der Füllkörperkolonne 1 sind im Abwasser genügend Mikroorganismen vorhanden, um die erforderliche Umsetzung und den Abbau der biologischen Bestandteile mit äußerst hoher Effektivität zu bewirken.

[0047] Die Form und Größe der Füllkörper ist nahezu beliebig, wobei ein geeigneter Kompromiss zwischen großer Stoffaustauschfläche und geringem Druckverlust für die Abwasserströmung gefunden werden muß. Bei ersten Versuchen wurden Füllkörper mit einem Durchmesser im Bereich von 4 bis 15 mm eingesetzt.

[0048] Anstelle einer Schüttung kann prinzipiell auch ein einstückiger Körper, beispielsweise ein Keramikkörper mit einem die Durchströmung ermöglichenden Kanalsystem verwendet werden, um den permanentmagnetischen Teil oder piezoelektrischen Teil der Kolonne auszubilden. Prinzipiell kann das Wachstum auch alleine durch piezoelektrische Körper oder permanentmagnetische Körper stimuliert werden, so daß eine einzige Schüttung aus im wesentlichen gleichen Füllkörpern in der Füllkörperkolonne 1 angeordnet ist.

[0049] Offenbart sind ein Bioreaktor zur Wachstumsstimulation von Mikroorganismen und ein Verfahren zum Stimulieren des Wachstums von Mikroorganismen, bei denen in einer Füllkörperkolonne eine Schüttung aus piezokeramischen Füllkörpern und aus permanentmagnetischen Füllkörpern angeordnet ist. Die piezokeramischen Füllkörper werden kontinuierlich oder diskontinuierlich zu hochfrequenten Schwingungen angeregt, so daß in dem entstehenden Wechselfeld des piezokeramischen Schüttungsanteils und dem



spiel befindet sich stromabwärts des Filters 4 eine Schüttung aus piezoelektrischen Keramikkörpern 6, die sich über eine Länge L der Füllkörperkolonne erstrecken.

[0021] Fig. 2 zeigt eine schematisierte Schnittdarstellung eines derartigen Keramikkörpers 6. Demgemäß besteht der Kern dieses etwa kugelförmigen Füllkörpers 6 aus einem Keramikmaterial mit piezoelektrischen Eigenschaften, d. h. an der Oberfläche dieses Materials entstehen bei einer Verformung der Kernmatrix unter Einwirkung mechanischer Kraft (Druck, Zug, Torsion) elektrische Ladungen – oder umgekehrt beim Anlegen einer elektrischen Spannung können mechanische Verformungen des Keramikmaterials festgestellt werden, die beispielsweise in der Mikrotechnik zur Steuerung von Bauelementen oder in der Druckertechnik zum Ausstoßen von Tinte ausgenutzt werden können.

[0022] Auf der Piezokeramik 8 ist eine Beschichtung 10 aus Titanoxid ( $\text{TiO}_2$ ) aufgebracht. Bei ersten Vorversuchen konnten mit einer Schichtdicke im Bereich von 200 bis 1000 nm relativ gute Ergebnisse erzielt werden – selbstverständlich sind auch andere Schichtdicken einsetzbar. Die Beschichtung 10 wirkt als Schutzmantel, so daß toxische Bestandteile der Piezokeramik, wie beispielsweise Blei nicht in Wechselwirkung mit dem aufzubereitenden Abwasser gelangen.

[0023] Nach dem Aufbringen der Beschichtung 10 auf die Piezokeramik 8 wird diese an zwei diametral zueinander angeordneten Bereichen – beispielsweise durch Laserenergie – gepunktet, so daß zwei Pole 12, 14 entstehen, bei denen keine Beschichtung 10 aufgetragen ist und somit die Piezokeramik 8 direkten Kontakt mit dem Abwasser hat. Diese Kontaktbereiche sind jedoch im Vergleich zur restlichen Oberfläche des Füllkörpers mit einer kleinen Austauschfläche ausgeführt, so daß keine das Abwasser belastende Wechselwirkungen mit der Piezokeramik auftreten können. Im Bereich der sich über die Länge L der Füllkörperkolonne erstreckenden Schüttung aus piezoelektrischen Füllkörpern 6 ist eine Einrichtung 16 zur Erzeugung von Ultraschall-schwingungen angeordnet. Diese kann beispielsweise durch einen Hochfrequenzgenerator gebildet sein, dessen Ausgangssignal über einen die Füllkörperkolonne 1 abschnittsweise umgreifende Spule auf die piezoelektrischen Wandler, d. h. im vorliegenden Fall auf die piezoelektrischen Füllkörper 6 übertragen wird, so daß diese zu Schwingungen im Ultraschallbereich mit einer Frequenz größer 20 kHz angeregt werden. Wie in Fig. 2 angedeutet ist, bilden sich durch diese hochfrequenten Schwingungen an der Oberfläche des Füllkörpers 6 Ladungen aus, die sich im Bereich der Pole 12 bzw. 14 konzentrieren. Je nach Art des Mikroorganismus lagern sich diese entlang der entstehenden Feldlinien 18, bevorzugt im Bereich der Pole 12, 14 an und treten in Wechselwirkung mit dem hochfrequenten Schwingungsfeld, so daß diese zum Wachstum angeregt werden.

[0024] Bei ersten Tests zeigte sich, daß es in vielen Fällen ausreichend ist, die Einrichtung 16 nur für einen vergleichsweise kurzen Zeitraum anzusteuern, um die piezoelektrischen Füllkörper 6 zum Schwingen anzuregen. Es stellte sich heraus, daß auch nach Abschalten der externen Schwingungserregung über die Einrichtung 16 die Füllkörper noch über einen sehr langen Zeitraum, beispielsweise 2–3 Wochen weiterschwingen und das Wachstum der Mikroorganismen stimulieren. In besonders günstigen Fällen können die in der Füllkörperkolonne ablaufenden biologischen Prozesse die Schwingungserregung unterstützen, so daß die externe Schwingungsquelle praktisch nur noch zum "Anschieben" der Wachstumsstimulierung erforderlich ist.

[0025] Neben der Schüttung aus piezoelektrischen Füllkörpern 6 ist eine weitere Schüttung mit der Länge M bestehend aus permanentmagnetischen Keramikkörpern 20 in der

Füllkörperkolonne 1 angeordnet. Diese permanentmagnetischen Füllkörper 20 haben bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel eine etwa zylindrische Form, wobei an den Stirnflächen der Nord- oder Südpol ausgebildet ist.

[0026] Auch durch diese Füllkörper sind in einer losen Schüttung und somit in beliebiger Relativlage zueinander in der Füllkörperkolonne 1 aufgenommen. Durch diese Permanentmagneten wird im Inneren der Füllkörperkolonne ein Magnetfeld erzeugt, das bestimmte Mikroorganismen, wie beispielsweise Einzeller, Geiseltierchen etc. zum Wachstum anregt und somit die biologische Umsetzung verbessert wird. Die Schüttung aus permanentmagnetischen Füllkörpern 20 kann stromabwärts der Schüttung aus piezoelektrischen Füllkörpern 6 oder aber auch stromaufwärts ausgebildet sein. Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel bei dem die permanentmagnetischen Füllkörper 20 zwischen zwei Schüttungen von piezoelektrischen Füllkörpern 6 angeordnet sind.

[0027] Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zunächst die Ultraschall-Einrichtung 16 angesteuert, so daß die piezoelektrischen Füllkörper 6 der Schüttungsbereiche L (Fig. 1) oder  $L_1$ ,  $L_2$  (Fig. 3) zu hochfrequenten Schwingungen, beispielsweise im Bereich von 40 kHz angeregt werden. Diese externe Schwingungserregung kann diskontinuierlich in gewissen Zeitabständen oder aber auch kontinuierlich während der gesamten Abwasser-aufbereitung erfolgen. Parallel wird dem Abwasser stromaufwärts der Füllkörperkolonne 1 eine biologische Mischkultur zugegeben, wie sie beispielsweise in der eingangs genannten älteren Anmeldung DE 100 62 812 der Anmelderin beschrieben ist. Demnach enthält die mikrobiotische Mischkultur einen Anteil an photosynthetisch arbeitenden Mikroorganismen und einen Anteil an Leuchtbakterien oder ähnlich wirkenden lichtemittierenden Mikroorganismen, die in einer breitbandigen biologischen Lösung gelöst sind.

[0028] Das Wechselspiel zwischen den photosynthetisch arbeitenden Mikroorganismen und den Leuchtbakterien führt dazu, daß die photosynthetisch arbeitenden Mikroorganismen durch die Leuchtbakterien zur Photosynthese angeregt werden. Die Mikroorganismen betreiben die Photosynthese mit Schwefelwasserstoff und Wasser als Edukt und setzen Schwefel bzw. Sauerstoff frei. Ferner können sie Stickstoff sowie Phosphat binden und organische sowie anorganische Materie abbauen.

[0029] Bevorzugt werden in der zugeführten mikrobiologischen Zusammensetzung photosynthetisch arbeitende Mikroorganismen verwendet, die fakultativ phototroph sind. Phototrophfakultativ bedeutet, daß die Mikroorganismen sowohl unter anaeroben Bedingungen im Licht als auch unter aeroben Bedingungen im Dunklen wachsen können.

[0030] Zu den Photosynthesebakterien gehören gramnegative aerobe stabförmige und kreisförmige Bakterien sowie grampositive kreisförmige Bakterien. Diese können Endosporen aufweisen oder ohne Sporen vorhanden sein. Dazu zählen beispielsweise auch grampositive Aktinomyzeten und verwandte Bakterien.

[0031] In diesem Zusammenhang können auch stickstoffbindende Organismen genannt werden. Dazu gehören beispielsweise Algen, wie Anabena Nostoc in Symbiose mit Azola. Des weiteren können Aktinomyzeten, z. B. Frankia in Symbiose mit Erlen und Bakterien, wie Rhizobium in Symbiose mit Leguminosen, erwähnt werden.

[0032] Außerdem können auch aerobe Algen, Azotobacter, methanoxidierende Bakterien und Schwefelbakterien verwendet werden. Dazu zählen auch grüne Schwefelbakterien und braun-grüne Photosynthesebakterien. Hier können auch nicht violette Schwefelbakterien und violette Schwefelbakterien genannt werden.